



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 24 311 A 1**

②① Aktenzeichen: P 41 24 311.0
②② Anmeldetag: 23. 7. 91
②③ Offenlegungstag: 28. 1. 93

⑤① Int. Cl.⁵:
G 02 B 27/48
G 02 B 27/10
G 02 B 17/06
G 02 B 5/08
// G 03 F 7/20, H 01 S
3/225

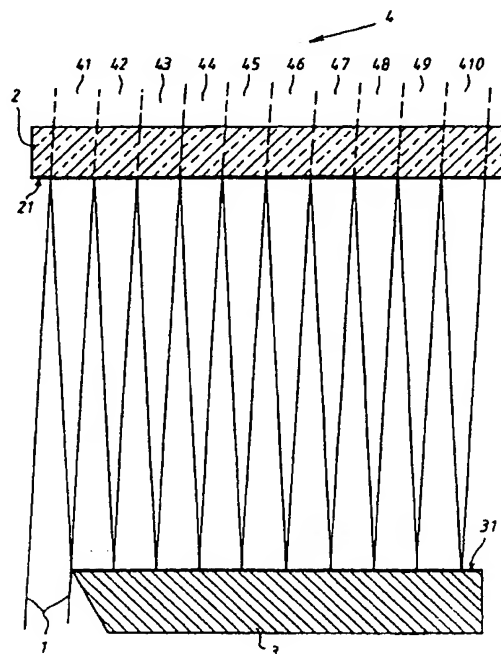
DE 41 24 311 A 1

⑦① Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑦② Erfinder:
Wangler, Johannes, 7923 Königsbrunn, DE

⑤④ Anordnung zur Kohärenzreduktion und Strahlformung eines Laserstrahls

⑤⑦ Anordnung zur Kohärenzreduktion und Strahlformung eines Laserstrahls (1), mit zwei zumindest annähernd parallelen annähernd senkrecht zum Laserstrahl angeordneten Spiegeln (21, 31), von denen der eine voll (31), der andere teilverspiegelt (21) ist, so daß das austretende Lichtbündel (4) aus mehreren nebeneinanderliegenden oder sich teilweise überlappenden Teilbündeln (41-410) besteht, die unterschiedlich oft in der Anordnung gespiegelt wurden, wobei der Abstand der Spiegel (21, 31) größer als die halbe Kohärenzlänge des Lasers (11) ist.
Vorteilhaft sind u. a. die Anordnung auf einer planparallelen Glasplatte, stufenweise abnehmender Reflexionsgrad des teilverspiegelten Spiegels (21) und teilweises Überlappen der austretenden Teilbündel (41-410).



DE 41 24 311 A 1

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Kohärenzreduktion und Strahlformung eines Laserstrahls.

Eine Anordnung zur Kohärenzreduktion ist aus US 47 44 615 bekannt in einer Ausführung mit einem Licht-Tunnel. Das Licht muß divergent in den Licht-Tunnel eingespeist werden und verläßt diesen stark divergent.

Aus J. Wangler, J. Liegl, Proc. ELO II Vol. 1138, p. 129, Paris 1989 sind verschiedene Alternativen, bewegte Streuscheibe, Linsenarray und nichtabbildender Konzentrador die Verwendung bzw. der Bedarf für die UV-Lithografie beschrieben.

In US 46 86 542 wird zur Aufspaltung eines Laserstrahls in die Verwendung einer Planplatte mit einseitiger Vollverspiegelung und einseitiger Teilverspiegelung mit seitwärts stufenweise reduziertem Reflexionsgrad beschrieben.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Anordnung zur Kohärenzreduktion und Strahlformung eines Laserstrahls mit wenigen und feststehenden optischen Elementen anzugeben, welches die geringe Divergenz des Laserstrahls im wesentlichen nicht verändert. Sie soll zur Verwendung in einer Beleuchtungseinrichtung zur Lithografie im tiefen Ultraviolett geeignet sein bzw. soll durch die Anordnung verändert werden, bzw. nach Bedarf geformt werden.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine gattungsgemäße Anordnung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 15.

Demnach sind zwei zumindest annähernd parallele Spiegel annähernd senkrecht zum Laserstrahl angeordnet. Ein Spiegel ist teilverspiegelt, der andere möglichst voll. Das austretende Lichtbündel besteht aus mehreren nebeneinanderliegenden oder sich teilweise überlappenden Teilbündeln, die unterschiedlich oft in der Anordnung gespiegelt wurden. Der Abstand der Spiegel ist größer als die halbe Kohärenzlänge des Lasers, der Gangunterschied zweier Teilbündel also jeweils größer als die ganze Kohärenzlänge. Die Kohärenzlänge errechnet sich aus der spektralen Verteilung.

Der Laserstrahl wird etwas gegen die Senkrechte zur Spiegelebene geschwenkt und so wird erreicht, daß die mehrfach reflektierten Bündel seitwärts versetzt durch den teilverspiegelten Spiegel treten.

Der Laserstrahl kann vorteilhaft sowohl neben dem vollverspiegelten Spiegel als auch durch den teilverspiegelten Spiegel eintreten.

Zur Homogenisierung des austretenden Lichtbündels ist es vorteilhaft, wenn der teilverspiegelte Spiegel über seine Breite unterschiedlich verspiegelt ist, wobei der Reflexionsgrad stufenweise oder stetig variieren kann.

Die Spiegel können auf zwei durch Luft, Gas oder Vakuum getrennten Trägern, von denen einer transparent ist, angebracht sein, oder auf beide Seiten einer planparallelen transparenten Platte, insbesondere aus Glas.

Die Geometrie kann so ausgelegt werden, daß die austretenden Teilbündel gerade seitwärts aneinander anschließen. Bei einem Laserstrahl mit zum Rand abnehmender Intensität kann jedoch durch ein Überlappen der Teilbündel das austretende Lichtbündel homogener gemacht werden.

Eine weitere vorteilhafte Möglichkeit der Homogenisierung des austretenden Lichtbündels ergibt sich, wenn der Reflexionsgrad des teilverspiegelten Spiegels so va-

riiert wird, daß er die Inhomogenität der Laserintensität in jedem austretendem Teilbündel zumindest teilweise kompensiert.

Der bei marktüblichen Excimer-Lasern übliche rechteckige Strahlquerschnitt kann leicht annähernd quadratisch gemacht werden, was für die Auslegung von Linsenoptiken vorteilhaft ist.

Zur sicheren Kohärenzreduktion bei nützlicher Bündelaufweitung und mit realistischen Spiegeleigenschaften ist es vorteilhaft, wenn die Zahl der Spiegelungen am vollverspiegelten Spiegel der erfindungsgemäßen Anordnung zwischen 5 und 20 beträgt.

Für einen zur Lithografie im fernen Ultraviolett geeigneten KrF-Excimerlaser ist die typische Kohärenzlänge 20 mm, so daß eine Spiegelanordnung mit mehr als halb so großem Abstand, wie im Kennzeichen des Hauptanspruches gefordert, ohne weiteres zu realisieren ist.

Im weiteren wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine Aufsicht auf ein Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 ausschnittsweise eine perspektivische Ansicht dieses Beispiels;

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel mit beidseitig verspiegeltem transparentem Träger in einer Laser-Beleuchtungsanordnung;

Fig. 4 ein Diagramm des Reflexionskoeffizienten über die Breite des teilreflektierenden Spiegels für zwei Beispiele;

Fig. 5 eine Skizze zur überlappenden Anordnung der austretenden Teilbündel bei einem Laserbündel mit zum Rand abfallender Intensität.

Fig. 1 zeigt einen Laserstrahl (1), z. B. einen KrF-Excimer-Laserstrahl mit 248 nm Wellenlänge, einer Kohärenzlänge von 20 mm und mit 2 mm Breite bei 20 mm Höhe.

Der Laserstrahl (1) trifft unter einem Winkel von knapp 4° zur Senkrechten auf einen Planspiegel (2) aus einem transparenten Träger und einer teilverspiegelten Schicht (21).

Gegenüber dem Planspiegel (2), parallel dazu und direkt neben dem Laserstrahl (1) ist ein zweiter Planspiegel (3) mit einer voll spiegelnden Schicht (31) auf einen Träger angeordnet. Der Abstand der Spiegel (2) und (3) beträgt knapp 20 mm und ist damit fast so groß wie die Kohärenzlänge des Laserstrahls (1).

Durch den teilverspiegelten Spiegel (2) tritt so ein Lichtbündel (4) aus, das aus den zehn Teilbündeln (41) bis (410) besteht, die jeweils direkt nebeneinander anschließend parallel austreten. Das Lichtbündel (4) hat dann quadratischen Querschnitt von 20 x 20 mm². Die Laufwegdifferenz zwischen je zwei Teilbündeln (41, 42 usw.) beträgt etwa 40 mm, ist also doppelt so groß wie die Kohärenzlänge des Laserstrahls (1). Die Teilbündel (41, 41 usw.) sind damit kohärenzmäßig völlig entkoppelt. In Fig. 2 ist dieses Beispiel ausschnittsweise nochmals perspektivisch dargestellt. Die Teilbündel (41, 42) schließen ohne Lücke seitwärts aneinander an.

Fig. 3 zeigt die Einbindung der Anordnung zur Kohärenzreduktion in eine Laser-Beleuchtungseinrichtung. Der Laser (11) emittiert einen Laserstrahl (1) von beschränktem Querschnitt, welcher in eine Anordnung mit teilverspiegeltem Spiegel (21) und vollverspiegeltem Spiegel (31) eingespeist wird. Die Anordnung unterscheidet sich nur durch die Verwendung eines einzigen transparenten Trägers (21) mit beidseitigen Reflexionsschichten (21, 31) von der luftgefüllten Version nach

Fig. 1.

Das austretende Lichtbündel (4) hat bei gleicher Divergenz wie der Laserstrahl (1) einen viel größeren Querschnitt (zehnfach) und ist kohärenzreduziert. Die Fokussierung durch eine Linse (5) ergibt damit einen Fokussfleck (6), in dem Speckle-Effekte durch die Kohärenzreduktion reduziert sind und die Fleckgröße reduziert bzw. die Energiedichte erhöht ist durch den größeren Querschnitt des fokussierten Bündels (4).

Um dies insgesamt wirksam zu erreichen, muß jedoch auch die Lichtintensität über den Querschnitt des austretenden Bündels (4) möglichst homogen sein.

Zunächst ist dabei die mit jeder Reflexion und teilweisen Transmission am teilverspiegelten Spiegel (21) einhergehende Intensitätsänderung des am teilverspiegelten Spiegel (21) ankommenden Bündels zu kompensieren. Dazu ist der Reflexionsgrad stufenweise zu reduzieren. Fig. 4 zeigt dies in einer Version mit idealem Reflexionsgrad $R = 100\%$ des vollverspiegelten Spiegels (31) und mit 10 austretenden Teilbündeln (41) bis (410) entsprechend Fig. 1.

Für 10 Teilbündel (41 – 410) ($i = 1$ bis 10) soll jedem 10% der Laserstrahlintensität I_0 zukommen, so daß der Reflexionsgrad r_i über die Breite eines Teilbündels i jeweils konstant gewählt wird und von 0,9 im Bereich des Teilbündels (41) ($i = 1$) progressiv abnimmt zu 0,5 beim Teilbündel (49) ($i = 9$) und 0 beim Teilbündel (410) ($i = 10$).

bei:

n = Anzahl der Teilbündel (41 bis 410)

I_0 = eingestrahlte Anfangsintensität

R = Reflektivität des vollverspiegelten Spiegels (31) ($R \approx 1.00$)

r_i = Reflektivität des teilverspiegelten Spiegels (21) am Ort des i -ten Teilbündels.

I_i^t = i -te transmittierte Intensität.

I_i^R = i -te reflektierte Intensität.

Dann gilt:

$$r_i = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{I_i^t}{I_{i-1}^R} \right) \quad i = 1 \dots n \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\text{mit } I_i^R = r_i \cdot I_{i-1}^R \cdot R \quad (\text{Gl. 2})$$

Es gilt insbesondere für

$$I_i^t = \text{konst} = \frac{I_0}{n}$$

$$r_i = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{I_0}{n \cdot I_{i-1}^R} \right) \quad (\text{Gl. 1a})$$

Beispiel für $I_0 = 1$; $R = 100\%$ und $n = 10$:

i	r_i	I_i^R	I_i^t
1	0.900	0.900	0.1
2	0.889	0.800	0.1
3	0.875	0.700	0.1
4	0.857	0.600	0.1
5	0.833	0.500	0.1
6	0.800	0.400	0.1
7	0.750	0.300	0.1
8	0.667	0.200	0.1
9	0.500	0.100	0.1
10	0.000	0.000	0.1
		Summe =	1.0

Statt der stufenweisen Minderung des Reflexionsgrads kann in brauchbarer Näherung auch eine in Fig. 4 ebenfalls angegebene stetige Ausgleichskurve (S) verwendet werden, wenn der Herstellungs- und Justieraufwand, der mit den Stufen im Reflexionsgrad einhergeht, gemindert werden soll. Zur Kompensation von Inhomogenitäten der Intensität des Laserstrahls (1) kann der Reflexionsgrad jedoch auch speziell angepaßte Kurven aufweisen.

Einen einfachen Ausgleich des typischen Intensitätsabfalls zum Rand des Laserstrahls (1) hin (Gauß-Profil) erhält man, wie Fig. 5 zeigt, durch teilweises Überlappen der austretenden Teilbündel (41, 42 usw.). Das ist durch geeignete Wahl von Abstand der Spiegel (21, 31) und Einfallswinkel des Laserstrahls (1) möglich. Der Abstand der gleichen Kanten benachbarter Teilbündel (41, 42 usw.) variiert zweckmäßigerweise zwischen der vollen Bündelbreite des Laserstrahls (1) (wie Fig. 1) und der vollen Halbwertsbreite FWHM des Laserstrahls (1). In diesem Fall ist es vorteilhaft, wie in Fig. 5 dargestellt, den Laserstrahl durch den teilreflektierenden Spiegel (21) eintreten zu lassen, da bei einer Ausföhrung nach Fig. 1 – Eintritt neben dem vollverspiegelten Spiegel (21) – sonst Vignettierung an der Spiegelkante auftreten würde.

Die Zahl der mit der Anordnung erzeugten Teilbündel (41) bis (410), die das austretende Lichtbündel (4) bilden, wird zweckmäßig mit etwa 5 bis 20 angesetzt. Größe und Abstand der Spiegel (21, 31), der Eintrittswinkel des Laserstrahls (1) und der Verlauf des Reflexionsgrads des teilverspiegelten Spiegels (21) werden dementsprechend abgestimmt. Nach oben limitieren diese Zahl die unvermeidlichen Reflexions- und Streuverluste (u. a. am vollverspiegelten Spiegel (31)) und die brauchbaren Querschnitte des austretenden Lichtbündels (4). Mit weniger Reflexionen ist der Effekt der Kohärenzreduktion noch zu gering, da ja jedes Teilbündel (41 usw.) in sich die Kohärenzeigenschaften des Laserstrahls (1) noch aufweist. Ebenfalls ist die Homogenisierung des Intensitätsprofils noch gering.

Die erfindungsgemäße Anordnung kann einzeln, mehrfach und in Kombination mit bekannten Maßnahmen zur Kohärenzreduktion und Homogenisierung, wie z. B. aus Wangler et al. a.a.o. bekannt, benutzt werden.

Zur Kohärenzreduktion in zwei orthogonalen Richtungen ist eine Kombination zweier gegeneinander um 90° verdrehter erfindungsgemäßer Anordnungen mit zwischengeschalteter anamorphotischer Optik geeignet.

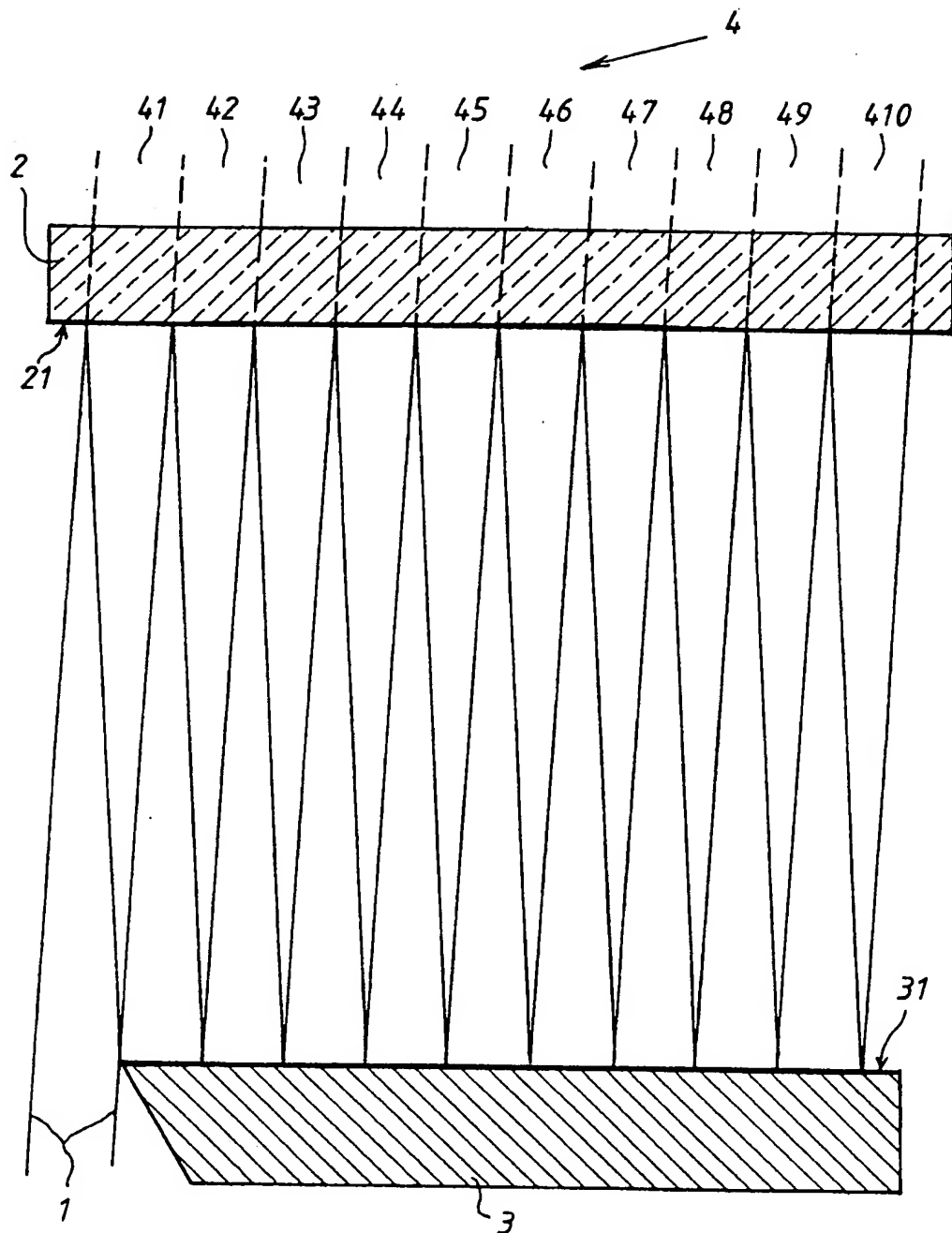
che 1 – 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der Spiegelungen am vollverspiegelten Spiegel (31) zwischen 5 und 20 beträgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

1. Anordnung zur Kohärenzreduktion und Strahlformung eines Laserstrahls (1), **gekennzeichnet** durch zwei zumindest annähernd parallele annähernd senkrecht zum Laserstrahl angeordnete Spiegel (21, 31), von denen der eine voll (31), der andere teilverspiegelt (21) ist, so daß das austretende Lichtbündel (4) aus mehreren nebeneinanderliegenden oder sich teilweise überlappenden Teilbündeln (41 – 410) besteht, die unterschiedlich oft in der Anordnung gespiegelt wurden, wobei der Abstand der Spiegel (21, 31) größer als die halbe Kohärenzlänge des Lasers (11) ist. 5
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (1) unter einem kleinen Winkel gegen die Senkrechte zur Spiegelebene (21) eintritt. 15
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (1) neben dem vollverspiegelten Spiegel (31) eintritt. 20
4. Anordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (1) durch den teilverspiegelten Spiegel (21) eintritt.
5. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 – 4, dadurch gekennzeichnet, daß der teilverspiegelte Spiegel (21) über seine Breite unterschiedlich verspiegelt ist. 25
6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der teilverspiegelte Spiegel (21) mit stufenweise abnehmendem Reflexionsgrad verspiegelt ist (Fig. 4). 30
7. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der teilverspiegelte Spiegel (21) mit stetig variierendem Reflexionsgrad verspiegelt ist (Fig. 4). 35
8. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 – 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den beiden Spiegeln (21, 31) Luft, Gas oder Vakuum ist und der teilverspiegelte Spiegel (21) auf einem transparenten Tragkörper (2) aufgebracht ist. 40
9. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 – 7, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Spiegel (21, 31) auf einen transparenten Tragkörper (23) auf zwei gegenüberliegende Planflächen aufgebracht sind (Fig. 3). 45
10. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 2 – 9, dadurch gekennzeichnet, daß für eine gegebene Breite des Laserstrahls (1) der Winkel gegen die Senkrechte der beiden Spiegel und der Abstand der beiden Spiegel (21, 31) so gewählt werden, daß die austretenden Teilbündel (41 – 410) unmittelbar nebeneinander anschließen. 50
11. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 – 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich die austretenden Teilbündel (41 – 410) teilweise überlappen (Fig. 5). 55
12. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 7 – 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Variation des Reflexionsgrads die Inhomogenität der Laserintensität über den Strahlquerschnitt zumindest teilweise kompensiert. 60
13. Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 – 12, dadurch gekennzeichnet, daß der eintretende Laserstrahl (1) einen schmalen rechteckigen Querschnitt hat und das austretende Lichtbündel (4) einen annähernd quadratischen Querschnitt hat. 65
14. Anordnung nach mindestens einem der Ansprü-

- Leerseite -

FIG. 1



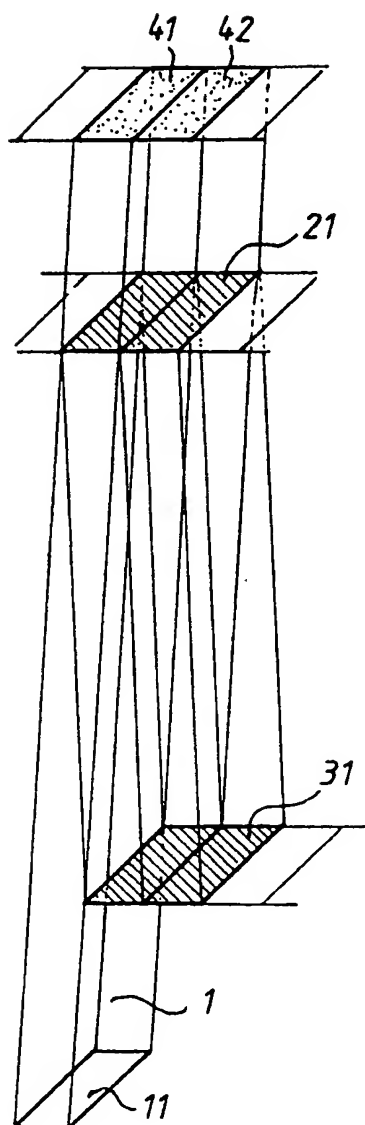


FIG. 2

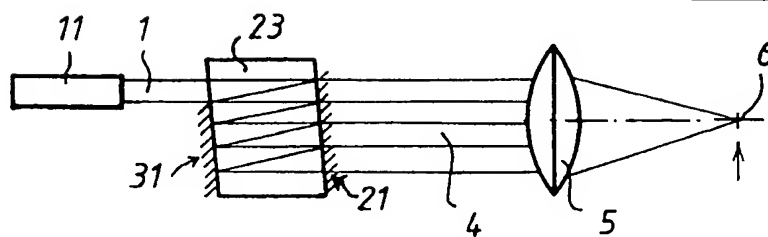


FIG. 3

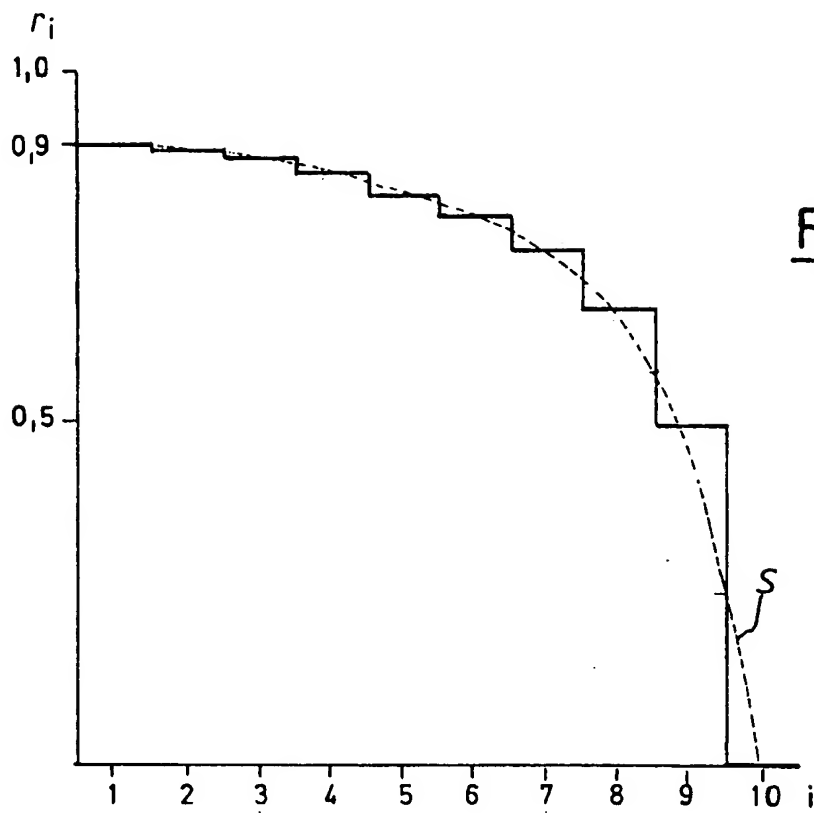


FIG. 4

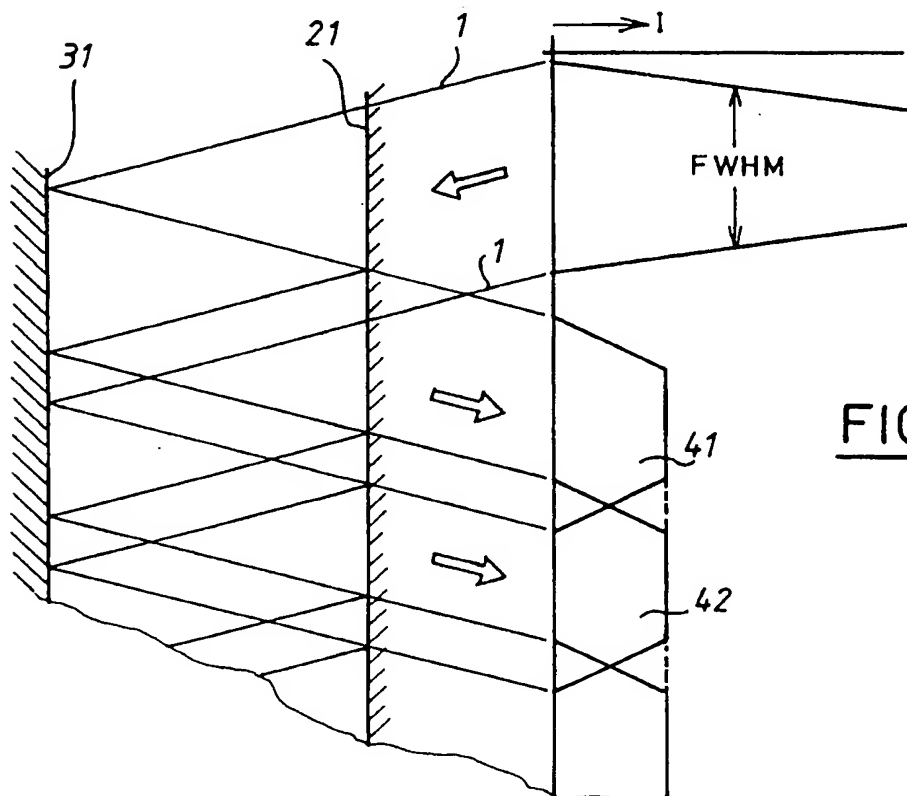


FIG. 5